

PENGARUH BIOAKUMULASI ENDOSULFAN TERHADAP PERTUMBUHAN IKAN MAS (*Cyprinus carpio* LINN)

The effect of endosulfan bioaccumulation on the growth of carp, *Cyprinus carpio* LINN.

Imam Taufik, Eddy Supriyono, dan Kukuh Nirmala

*Instalasi Riset Perikanan Budidaya dan Toksikologi,
Balai Riset Perikanan Budidaya Air Tawar, Bogor*

ABSTRACT

This research was done in order to determine the effect of endosulfan bioaccumulation on the growth of carp (*Cyprinus carpio*). This research was conducted in 40 l of glass aquaria, the initial weight of carp was 0.81 ± 0.098 g/fish, and the pesticide endosulfan with active ingredient of 350 g/l was used as test solution. Preliminary research was conducted with bioassay test to assess LC_{50-96h} of endosulfan for carp, and then the fish were exposed to some series of exposure concentration, those are 10; 30; and 50% of LC_{50-96h} value or 0.24; 0.72; and 1.2 $\mu\text{g/l}$ for 12 weeks. Endosulfan residue analysis in the water and the body of the fish was conducted after: 0, 4, 12, 24, 48, 96, 144, 192, 264 of exposure hours by using liquid gas chromatography (LGC). Body weight of fish was measured weekly. This study resulted that endosulfan was very toxic to the carp with LC_{50-96h} value was 2.42 (2.206-2.652) $\mu\text{g/l}$. Endosulfan bioaccumulation of exposure concentration of 0.24; 0.72; and 1.20 $\mu\text{g/l}$ were 67.93; 119.21; and 141.19 $\mu\text{g/kg}$ respectively. Bioaccumulation of 119,21 $\mu\text{g/kg}$ significantly inhibit the growth of carp.

Keywords: endosulfan, bioaccumulation, growth, carp

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh biakumulasi insektisida endosulfan terhadap pertumbuhan ikan mas. Wadah penelitian berupa akuarium kaca, hewan uji adalah ikan mas berukuran $0,81 \pm 0,098$ g/ekor, bahan uji berupa formulasi insektisida dengan bahan aktif endosulfan 350 g/l. penelitian diawali dengan uji hayati untuk menentukan nilai LC_{50-96} jam endosulfan terhadap ikan mas, selanjutnya dilakukan pemaparan ikan mas selama 12 minggu dalam air dengan konsentrasi endosulfan yang berbeda, yaitu: 10, 30, dan 50% dari nilai LC_{50-96} jam atau sebesar 0,24; 0,72; dan 1,20 $\mu\text{g/l}$. Analisis residu endosulfan dalam sample air dan ikan dilakukan setelah waktu pemaparan 0, 4, 12, 24, 48, 96, 144, 192, dan 264 jam dengan menggunakan kromatografi gas cair (GC), pengukuran bobot ikan dilakukan setiap minggu dengan menimbang berat total. Hasil penelitian menunjukkan bahwa insektisida endosulfan sangat toksik terhadap ikan mas dengan nilai LC_{50-96} jam sebesar 2,42 (2,206-2,652) $\mu\text{g/l}$, bioakumulasi endosulfan pada konsentrasi perlakuan 0,24; 0,72; dan 1,20 $\mu\text{g/l}$ secara berturut-turut adalah 67,93; 119,21; and 141,19 $\mu\text{g/kg}$. Bioakumulasi sebesar 119,21 $\mu\text{g/kg}$ secara nyata menghambat pertumbuhan ikan mas.

Kata kunci: endosulfan, bioakumulasi, pertumbuhan, ikan mas

PENDAHULUAN

Meningkatnya penggunaan pestisida telah menimbulkan kekhawatiran karena terjadinya hal-hal yang tidak diinginkan. Menurunnya kualitas lingkungan karena kontaminasi oleh pestisida telah mengakibatkan timbulnya masalah-masalah baru yang harus segera diatasi. Kematian

ikan di sawah, kolam atau sungai, makin jarang dijumpai jenis burung-burung tertentu, terjadinya resistensi hama maupun timbulnya eksplosi hama sekunder antara lain diduga sebagai akibat penggunaan pestisida yang tidak bijaksana (Mulyani, 1973).

Endosulfan merupakan senyawa kimia dari golongan organoklorin yang banyak dipergunakan di Indonesia sebagai bahan

aktif dalam berbagai formulasi insektisida dan diperdagangkan dengan beberapa nama dagang, antara lain: Thiodan, Fanodan, Akodan, dan Termisidan (Pusat dan Investasi Sekjen Deptan, 2007). Seperti pestisida golongan organoklorin pada umumnya, endosulfan bersifat toksik terhadap organisme perairan termasuk ikan dan sangat persisten sehingga akan meninggalkan residu dalam waktu lama yang dapat mencemari lingkungan perairan. Salah satu komoditas perikanan yang berpotensi terkontaminasi endosulfan adalah ikan mas (*Cyprinus carpio*) karena jenis ikan ini pada umumnya dipelihara dalam kolam atau Karamba Jaring Apung (KJA) di waduk, dengan sumber air berasal dari aliran sungai yang berhubungan langsung dengan berbagai aktifitas pertanian yang banyak menggunakan pestisida.

Ikan mas yang terpapar dalam air yang tercemar oleh endosulfan dalam konsentrasi subletal akan menyerap bahan aktif tersebut melalui permukaan tubuh, membran insang dan difusi kutikular. Penyerapan akan berlangsung secara terus menerus sampai tercapai keadaan *steady state* yaitu kondisi dimana jumlah bahan uji yang diserap dan didepurasi per satuan waktu seimbang pada suatu konsentrasi bahan dalam air (Nagel dan Loskill, 1991). Residu endosulfan yang terserap oleh ikan akan terakumulasi di dalam jaringan tubuh melalui proses bioakumulasi karena endosulfan termasuk insektisida golongan organoklorin yang memiliki sifat lipofilitas tinggi, sehingga dapat mengganggu proses fisiologis dan aktivitas metabolisme ikan. Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh bioakumulasi insektisida endosulfan terhadap pertumbuhan ikan mas.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Inris Lingkungan Perikanan Budidaya & Toksikologi, BRPBAT-Bogor; Laboratorium Kesehatan Ikan FPIK-IPB; dan Balai Penelitian Bioteknologi Tanaman Pangan.

Ikan uji adalah benih ikan mas yang berasal dari hasil pemijahan secara terkontrol

dengan bobot tubuh $0,81 \pm 0,098$ g/ekor. Bahan uji berupa insektisida Akodan 35 EC dengan kandungan bahan aktif endosulfan 350 g/liter. Wadah penelitian terdiri dari: 28 unit akuarium berukuran 40 x 20 x 20 cm untuk uji letal, dan 16 unit berukuran 70 x 50 x 60 cm untuk uji subletal, yang masing-masing dilengkapi dengan wadah/tandon pergantian air, aerasi serta saluran pemasukan dan pengeluaran air.

Penelitian diawali dengan uji hayati (*bioassay*) untuk menentukan nilai LC_{50} dari insektisida endosulfan terhadap ikan mas setelah waktu paparan 96 jam, kemudian dilanjutkan dengan memaparkan 20 ekor ikan uji dalam 40 liter air tawar dengan konsentrasi endosulfan yang berbeda, yaitu: (A) 0% sebagai kontrol; (B) 10% x LC_{50} -96 jam; (C) 30% x LC_{50} -96 jam dan (D) 50% x LC_{50} -96 jam. Untuk mempertahankan konsentrasi larutan uji, setiap 24 jam dilakukan pergantian air sebanyak 100%.

Selama 12 minggu paparan ikan uji diberi pakan berupa pellet komersil secara *at-satiation*. Pengukuran bobot dilakukan seminggu sekali dengan cara menimbang biomas ikan. Pengukuran konsentrasi insektisida endosulfan yang terkandung dalam air dan dalam tubuh ikan uji (bioakumulasi) dilakukan setelah waktu paparan 0, 4, 12, 24, 48, 96, 144, 192 dan 264 jam menggunakan gas kromatografi cair (GC).

Rancangan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 3 kali pengulangan. Peubah yang diamati meliputi mortalitas ikan pada toksisitas letal, penyerapan dan bioakumulasi endosulfan serta laju pertumbuhan ikan mas dan efisiensi pakan pada setiap perlakuan. Data kumulatif mortalitas ikan pada uji definitif dianalisis menggunakan metode Wallace (1992) dengan bantuan program "*probit analysis*" untuk menentukan nilai LC_{50} .

Pertumbuhan individu ikan mas selama waktu paparan dalam uji biokumulasi dihitung berdasarkan model laju pertumbuhan harian individu dengan rumus menurut Ricker (1975):

$$G = (\ln W_t - \ln W_0) / \Delta t \times 100\%$$

keterangan:

- G = laju pertumbuhan harian individu (%)
 W_t = bobot rata-rata individu pada akhir pengamatan (g)
 W_0 = bobot rata-rata individu pada awal pengamatan (g)
 Δt = waktu pemaparan (hari)

Konsumsi pakan harian (KPH) dari ikan mas pada masing-masing perlakuan dihitung berdasarkan persamaan Watanabe (1988) sebagai berikut:

$$KPH = \frac{\text{Pakan yang dikonsumsi (g)}}{(W_0 + W_t)/2 \times (\Delta t)}$$

keterangan:

- KPH = konsumsi pakan harian (%berat tubuh/hari)
 W_0 = berat biomassa awal (g)
 W_t = berat biomassa pada waktu t (g)
 Δt = waktu pemaparan (hari)

Terhadap data pertumbuhan ikan mas dan efisiensi pakan selama pemaparan dilakukan analisa varian yang dilanjutkan dengan uji Tukey untuk mengetahui pengaruh antara perlakuan. Sebagai data pendukung dilakukan pengukuran beberapa sifat fisika-kimia air, seperti: suhu, pH, oksigen terlarut, CO_2 dan amoniak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Toksisitas letal: Nilai LC_{50-96} jam

Berdasarkan percobaan pendahuluan diketahui nilai ambang bawah (LC_{0-48} jam) adalah 1 $\mu g/l$, yaitu konsentrasi tertinggi insektisida endosulfan yang tidak mematikan ikan mas dalam waktu 48 jam dan nilai ambang atas (LC_{100-24} jam) adalah 10 $\mu g/l$, yaitu konsentrasi terendah insektisida endosulfan yang dapat mematikan 100% ikan mas dalam waktu 24 jam. Dari nilai kisaran tersebut maka uji definitif dilakukan pada konsentrasi insektisida endosulfan sebesar: 1,4 $\mu g/l$; 1,9 $\mu g/l$; 2,7 $\mu g/l$; 3,7 $\mu g/l$; 5,2 $\mu g/l$; dan 7,2 $\mu g/l$ serta kontrol sebagai pembanding. Melalui analisis probit terhadap data mortalitas komulatif ikan mas pada uji definitif diketahui bahwa nilai LC_{50-96} jam

adalah 2,42 (2,206-2,652) $\mu g/l$ dengan persamaan garis probit $y = 5,4982 x - 2,6072$.

Mortalitas ikan mas semakin meningkat dengan bertambahnya konsentrasi perlakuan dan waktu pemaparan yang disebabkan oleh masuknya endosulfan ke dalam tubuh melalui penyerapan langsung lewat kulit dan pengambilan dari air melalui membran insang. Menurut Arianti (2002) endosulfan yang masuk ke dalam tubuh ikan akan mengganggu keseimbangan sodium (Na) dan Potasium (K) dalam sel syaraf sehingga sistim syaraf tidak stabil yang mengakibatkan ikan tidak mampu mengendalikan kontraksi otot sebagai akibat dari rangsang otak yang berlebihan sehingga menyebabkan kejang-kejang.

Berdasarkan ketentuan Komisi Pestisida (2004), ternyata toksisitas insektisida endosulfan terhadap ikan mas diklasifikasikan ke dalam golongan A yaitu pestisida yang memiliki toksisitas sangat tinggi dengan nilai LC_{50-96} jam $< 1000 \mu g/l$. Nilai LC_{50-96} jam insektisida endosulfan terhadap ikan mas pada penelitian ini adalah 2,42 $\mu g/l$, lebih rendah dibanding hasil yang diperoleh Koesoemadinata (2000) yakni sebesar 12,9 $\mu g/l$. Hal ini diduga disebabkan karena perbedaan ukuran hewan uji, dimana ikan mas yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai bobot rata-rata $0,8 \pm 0,09$ g/ekor sedangkan pada penelitian Koesoemadinata berukuran lebih besar yaitu $1,4 \pm 0,2$ g/ekor.

Bioakumulasi Insektisida Endosulfan

Bioakumulasi adalah proses pengambilan bahan kimia dari lingkungan melalui beberapa atau semua jalur yang memungkinkan (melalui respirasi, pakan, kulit) dari sumber dalam lingkungan akuatik (air, suspensi, koloid atau partikulat organik karbon, sedimen, organisme lain) dimana bahan kimia tersebut berada.

Laju penyerapan endosulfan ke dalam tubuh ikan mas pada ke-3 konsentrasi perlakuan semakin meningkat dengan bertambahnya waktu pemaparan. Pada perlakuan 10% (0,24 $\mu g/l$) peningkatan akumulasi endosulfan terjadi sampai dengan

waktu paparan 48 jam dan selanjutnya konstan/stabil (*steady state*) setelah konsentrasi bioakumulasi mencapai 67,93 µg/kg, sedangkan pada konsentrasi 30% (0,72 µg/l) dan 50% (1,20 µg/l) kondisi *steady state* terjadi setelah waktu paparan 144 jam dengan konsentrasi bioakumulasi masing-masing sebesar 119,21 µg/kg dan 141,19 µg/kg ikan (Tabel 1).

Berdasarkan determinasi residu endosulfan dalam tubuh ikan mas pada keadaan stabil yang diperbandingkan dengan nilai rata-rata konsentrasi endosulfan dalam air, maka diperoleh nilai biokonsentrasi factor (BCF) yang nominalnya berbanding terbalik dengan konsentrasi aplikasi endosulfan dalam air (Tabel 1).

Semakin tinggi aplikasi endosulfan dalam air maka akan menghasilkan nilai BCF yang semakin rendah, dan sebaliknya. Fenomena tersebut terjadi karena ikan mas mempunyai kemampuan yang terbatas untuk melakukan proses penyerapan, biotransformasi, distribusi serta penimbunan bahan kimia termasuk endosulfan dalam tubuh ikan seperti yang dijelaskan oleh Veith (1979). Nilai BCF paling besar diperoleh pada ikan mas yang dipaparkan dalam perlakuan konsentrasi endosulfan 0,24 µg/l yaitu sebesar 8,565; disusul oleh perlakuan 0,72 µg/l kemudian 1,20 µg/l dengan nilai masing-masing sebesar 7,737 dan 4,690. Berdasarkan analisis ragam diketahui bahwa laju penyerapan dan nilai BCF endosulfan antar perlakuan menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$). Hal ini

mengindikasikan bahwa kenaikan konsentrasi endosulfan dalam air secara signifikan akan berpengaruh terhadap laju penyerapan dan nilai BCF endosulfan pada ikan mas.

Pertumbuhan Ikan

Dari hasil sampling yang dilakukan setiap minggu terlihat bahwa bobot rata-rata ikan mas pada setiap perlakuan bertambah sejalan dengan waktu paparan (Gambar 1). Ikan mas pada kontrol mempunyai pertumbuhan yang paling baik, disusul oleh ikan mas dengan konsentrasi bioakumulasi sebesar 2,04 µg/l, kemudian 3,58 µg/l dan yang paling rendah pada konsentrasi 4,24 µg/l.

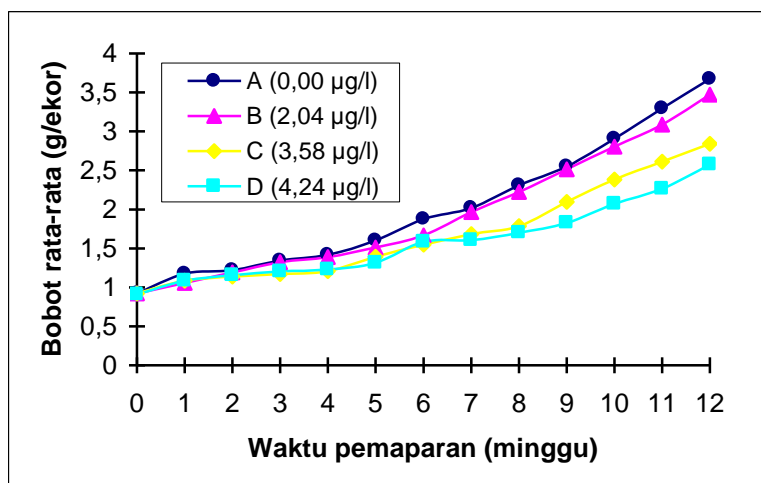
Laju pertumbuhan spesifik paling tinggi diperoleh pada kontrol yaitu sebesar 1,650%, disusul oleh ikan dengan konsentrasi bioakumulasi endosulfan sebesar 2,04 µg/l; 3,58 µg/l; dan 4,24 µg/l dengan nilai laju pertumbuhan spesifik berturut-turut sebesar 1,577%; 1,340%; dan 1,293%. Secara statistik, laju pertumbuhan spesifik ikan pada kontrol (A) tidak berbeda dengan B (2,04 µg/l) tetapi keduanya berbeda nyata ($P < 0,05$) dengan perlakuan C (3,58 µg/l) dan D (4,24 µg/l), sedangkan antara perlakuan C dan D tidak berbeda nyata. (Tabel 2). Hal tersebut membuktikan bahwa akumulasi insektisida endosulfan dalam tubuh ikan mas pada konsentrasi sebesar 3,58 µg/l atau lebih akan mempengaruhi laju pertumbuhan spesifik ikan mas.

Tabel 1. Nilai laju penyerapan dan biokonsentrasi faktor insektisida endosulfan terhadap ikan mas pada masing-masing perlakuan.

Perlakuan (µg/l)	Laju penyerapan (µg/kg /jam)	RU _{max} (µg/kg)	RA _{av} (µg/l)	Biokonsentrasi faktor
0,24	26,24 ± 0,11 ^a	67,93 ± 0,32	7,96 ± 0,42	8,565 ^a
0,72	23,50 ± 0,88 ^b	119,21 ± 4,48	15,42 ± 2,93	7,737 ^b
1,20	14,35 ± 0,06 ^c	141,19 ± 0,47	30,10 ± 0,67	4,690 ^c

Keterangan:

- Angka dalam kolom sama yang diikuti huruf sama menunjukkan tidak beda nyata ($P > 0,05$).
- RU_{max} = Konsentrasi residu maksimum dalam tubuh ikan pada keadaan tetap.
- RA_{av} = Rata-rata konsentrasi residu dalam air selama penelitian.



Gambar 1. Pertambahan bobot rata-rata individu ikan mas pada masing-masing perlakuan selama 12 minggu paparan.

Tabel 2. Pertumbuhan ikan mas pada berbagai konsentrasi bioakumulasi endosulfan setelah 12 minggu paparan.

Bioakumulasi (µg/kg)	Bobot awal (g/ekor)	Bobot akhir (g/ekor)	Laju pertumbuhan spesifik*) (%)
A (0,00)	0,920	3,673	1,650 ± 0,04 ^a
B (2,04)	0,922	3,472	1,577 ± 0,04 ^a
C (3,58)	0,920	2,842	1,340 ± 0,11 ^b
D (4,24)	0,922	2,727	1,293 ± 0,06 ^b

*) Angka pada kolom sama yang diikuti huruf sama, menunjukkan tidak beda nyata ($P > 0,05$)

Terhambatnya pertumbuhan ikan disebabkan oleh faktor eksternal berupa polutan endosulfan dalam media pemeliharaan dan faktor internal yaitu terganggunya proses fisiologis dan metabolisme tubuh akibat bioakumulasi endosulfan. Pengaruh subletal endosulfan merupakan tekanan lingkungan bagi ikan mas sehingga ikan tersebut akan mereduksi pertumbuhannya (Schmittou, 1991). Tereduksinya pertumbuhan ikan juga dapat terjadi karena: (1) endosulfan yang terakumulasi menyebabkan organ tubuh ikan mengalami gangguan sehingga mengurangi nafsu makan yang mengakibatkan laju konsumsi pakan menurun, dan (2) pemanfaatan energi yang berasal dari makanan lebih banyak digunakan untuk mempertahankan diri (*maintenance*) dari

tekanan lingkungan serta mengganti bagian sel yang rusak akibat bahan asing (endosulfan) sehingga kelebihan energi dari penggunaan untuk proses tersebut sangat sedikit yang dimanfaatkan untuk menambah bobot tubuh. Hal tersebut terbukti dari hasil perhitungan efisiensi pakan dari masing-masing perlakuan yang tidak menunjukkan perbedaan yang nyata (Tabel 3).

Polutan (termasuk endosulfan) dapat berpengaruh secara langsung maupun tidak langsung terhadap perilaku makan, cara makan, penyerapan, pencernaan, asimilasi, ekskresi dan perubahan pada tingkat hormonal yang akhirnya berpengaruh terhadap pertumbuhan (Heat, 1987). Adanya fluktuasi dan ketersediaan makanan, kondisi perairan dan kondisi ikan berpengaruh terhadap besarnya energi yang dikonsumsi

oleh seekor ikan, sehingga energi yang dikonsumsi tersebut dapat lebih besar atau lebih kecil dari energi yang dibelanjakannya. Hal ini mengakibatkan terjadinya peningkatan atau penurunan energi tumbuh (Affandi dan Tang, 2002).

Kualitas Air

Pengukuran kualitas media uji dilakukan selama penelitian berlangsung dengan maksud agar faktor lingkungan tersebut dapat dipastikan dalam kondisi optimal bagi ikan sehingga tidak berpengaruh terhadap hasil penelitian (Tabel 4).

Sifat fisika kimia air selama penelitian berlangsung dalam kondisi baik dengan konsentrasi kisaran yang masih di dalam nilai ambang batas (NAB) untuk perikanan. Hal ini dimungkinkan karena penelitian dilakukan di dalam laboratorium secara terkontrol serta pergantian air yang dilakukan setiap 24 jam. Dengan demikian hasil pengukuran beberapa parameter tidak dipengaruhi oleh kondisi lingkungan pemeliharaan tetapi hanya disebabkan oleh toksisitas endosulfan sebagai perlakuan.

Tabel 3. Rata-rata nilai efisiensi pakan (%) ikan mas pada masing-masing perlakuan selama 12 minggu pemaparan.

Perlakuan (µg/l)	Bobot awal (g)	Bobot akhir (g)	Jumlah pakan (g)	Efisiensi pakan (%)
A (kontrol)	18,40 ± 0,35	73,47 ± 3,81	104,75 ± 12,36	52,92 ± 5,33 ^a
B (2,04 µg/l)	18,43 ± 0,21	69,43 ± 2,50	93,82 ± 10,95	54,49 ± 5,26 ^a
C (3,58 µg/l)	18,40 ± 0,17	56,83 ± 4,75	85,93 ± 15,83	45,14 ± 3,90 ^a
D (4,24 µg/l)	18,43 ± 0,25	54,53 ± 3,52	79,51 ± 8,17	45,45 ± 1,08 ^a

*) Angka pada kolom sama yang diikuti huruf sama menunjukkan tidak beda nyata ($P > 0,05$)

Tabel 4. Kisaran sifat fisika-kimia air pada uji toksisitas letal dan subletal insektisida endosulfan terhadap ikan mas

Uji	Konsentrasi (µg/l)	Parameter				
		Suhu (°C)	pH	DO (mg/l)	CO ₂ (mg/l)	Amonia (mg/l)
Lethal	0,0	26	7,5	7,2-9,2	1,0-8,4	0,02-0,34
	1,4	26	7,5-8,0	6,8-9,2	1,3-8,9	0,02-0,34
	1,9	26	7,5-8,0	7,6-9,6	1,3-8,6	0,03-0,32
	2,7	26	7,5	5,6-8,8	1,1-8,4	0,02-0,33
	3,7	26	7,5	5,7-9,6	1,5-8,2	0,02-0,34
	5,2	26	7,5	5,6-8,8	0,7-8,8	0,02-0,34
	7,2	26	7,5-8,0	6,0-9,2	2,0-6,4	0,03-0,33
Sublethal	0,00	25-27	7,5	5,8-8,4	1,8-8,9	0,04-0,18
	0,24	25-27	7,5	6,2-8,6	1,8-6,9	0,05-0,11
	0,72	25-27	7,5	5,8-9,0	1,4-6,4	0,05-0,13
	1,20	25-27	7,5	6,2-9,2	1,5-6,6	0,05-0,18
NAB		25-32 ¹⁾	6-9 ³⁾	5-9 ³⁾	10 ²⁾	< 2,20 ³⁾

Keterangan: NAB = Nilai Ambang Batas untuk Perikanan

KESIMPULAN

1. Insektisida endosulfan memiliki toksisitas sangat tinggi terhadap juvenil ikan mas dengan nilai LC_{50-96} jam sebesar 2,42 (2,206-2,652) $\mu\text{g/l}$.
2. Bertambahnya konsentrasi insektisida endosulfan dalam air menyebabkan laju penyerapan endosulfan dan nilai biokonsentrasi factor (BCF) semakin menurun.
3. Bioakumulasi insektisida endosulfan pada ikan mas sebesar 3,58 $\mu\text{g/l}$ atau lebih secara signifikan dapat menurunkan laju pertumbuhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, R., dan U.M. Tang. 2002. Fisiologi hewan air. Unri Press. Pekanbaru, Riau, Indonesia. 217 h.
- Arianti, F.D. 2002. Toksisitas insektisida endosulfan terhadap ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dalam lingkungan air tawar. Tesis. Program Pascasarjana, IPB. Bogor. 87 hal.
- Heath, A.G. 1987. Water pollution and fish physiology. CRC Ress Inc. Boca Raton, Florida. 245 hal.
- Koesoemadinata, S. 2000. Toksisitas akut insektisida endosulfan, klorpirifos, dan klorfluazuron pada tiga jenis ikan air tawar dan udang galah. JPPI. 4(3-4): 36-43.
- Komisi Pestisida. 1983. Pedoman umum pengujian laboratorium toksisitas letal pestisida pada ikan untuk keperluan pendaftaran. Departemen Pertanian. Jakarta. 18 hal.
- Komisi Pestisida. 2004. Pedoman pengujian residu pestisida dalam hasil pertanian; Pelaksanaan ketentuan batas maksimum residu pestisida. Direktorat Perlindungan Tanaman Pangan, Departemen Pertanian RI.
- Mulyani. 1973. Peraturan pestisida. Laporan Direktorat Perlindungan Tanaman, Jakarta. 6 hal.
- Nagel R., dan R. Loskill. 1991. Bioaccumulation in aquatic system; contribution to the assessment. Prooceding of an International Workshop, Berlin. VCH Publishers Inc. New York. 238 hal.
- Pusat Perizinan dan Investasi. 2007. Pestisida; Pertanian dan Kehutanan. Sekretariat Jenderal, Departemen Pertanian. 574 hal.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistic of fish population. Ull. Fish. Res. Board Can, No. 119-382 hal.
- Schmittou, H.R. 1991. Budidaya karamba, suatu metode ikan di Indonesia. Auburn University.
- Veith, G.D., Defoe, D.L., dan Bergstedt. 1979. Mesuring and estimating the bioconcentration factor of chemicals in Fish. J. Fish. Res. Board. Can 36: 1040 – 1048.
- Wallace, K.B. 1992. Specie-selective toxicity of organophosphorus insecticides: A pharmacodynamic phonomenon. In Organophosphates, Chemistry, Fate and Effect. Academic Press, New York. hal 79-105.
- Watanabe. 1988. Fish nutrition and mariculture. JICA Textbook The General Aquaculture Course. Depart. Of Aquatic Biosciences. Tokyo University of Fisheries. 45 hal.